

GÊNESE DE TURFEIRAS E MUDANÇAS AMBIENTAIS QUATERNÁRIAS NA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL – MG

Márcio Luiz da SILVA¹ & Alexandre Christófaros SILVA²

(1) Professor do IFSULDEMINAS, Campus Inconfidentes, Mestre em Ciência Florestal (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM) e Doutorando em Geologia (Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP). Rua João Pandiá Calógeras, 51 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Distrito de Barão Geraldo. CEP 13083-970. Campinas, SP. Endereço eletrônico: marcgeo10@yahoo.com.br.

(2) Professor Associado do Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM. Caixa Posta 38, Rod. MGT 367, km 583, CEP 39100-000 Diamantina (MG). Endereço eletrônico: alexandre.christo@ufvjm.edu.br.

- Introdução
- Caracterização da Área de Estudo e Contexto Geológico
- Materiais e Métodos
 - Trabalhos de Campo
 - Análise Cartográfica
 - Aquisição do Banco de Dados
 - Tratamento das Imagens e Manipulação dos Dados
 - Mapeamento das Turfeiras
 - Determinações Analíticas
- Resultados e Discussão
 - Turfeiras da Porção Norte da Serra do Espinhaço Meridional
 - Composição Isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e Idades Radiocarbônicas das Turfeiras
 - Gênese e Evolução das Turfeiras no Espinhaço Meridional
- Considerações Finais
- Agradecimentos
- Referências Bibliográficas

RESUMO - A Serra do Espinhaço Meridional - SdEM, possui litologias predominantemente quartzíticas e é caracterizada por apresentar variações de altitudes e áreas dissecadas entremeadas a superfícies de aplainamento, onde, nas depressões, ocorrem as turfeiras. O objetivo desse trabalho foi mapear as turfeiras da porção norte da SdEM, discutir sua cronologia através de datações radiocarbônicas (^{14}C) e utilizar isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) visando detectar vestígios de mudanças ambientais regionais que ocorreram no Quaternário. A determinação da área e mapeamento das turfeiras foi realizada através de trabalhos de campo, análises de imagens e de fotografias aéreas. As amostragens foram realizadas em seis turfeiras na porção norte da SdEM. Foram coletadas treze amostras em diferentes profundidades nas Turfeiras Pinheiro, Sempre-Vivas I, II e III, São Miguel e Pico do Itambé, para processamento e determinação da composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e datações radiocarbônicas (^{14}C) por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. Segundo as datações, as turfeiras da SdEM teriam começado a se formar a 42.175 \pm 3.390 A.P. (Pleistoceno). Elas indicaram, através da composição isotópica, mudanças na cobertura vegetal ao longo do Pleistoceno Superior e do Holoceno, sugerindo uma interpretação e inferência que aponta para possíveis mudanças no clima local e regional.

Palavras-chave: organossolos; datações radiocarbônicas; $\delta^{13}\text{C}$; paleoambientes.

ABSTRACT - *Genesis of peatlands and environmental changes quaternary in Serra do Espinhaço Meridional – MG.* The Serra do Espinhaço Meridional - SdEM, has predominantly quartzite lithologies and is characterized by the variations in altimetry and dissected areas interspersed the planning surfaces, where the depressions occur peatlands. The objective of this study was to map the peatlands of the northern portion of SdEM discuss its chronology through radiocarbon dating (^{14}C) and using stable isotopes of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) to detect traces of regional environmental changes that have occurred in the Quaternary. The determination of the area and mapping of peatlands was carried out through fieldwork, satellite images and aerial photographs analysis. Samples were collected in six peatlands in the northern portion of SdEM. Thirteen samples were collected at different depths in the Peatlands Pinheiros, Sempre-Vivas I, II and III, São Miguel and Pico do Itambé for processing and determining the isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) and radiocarbon dating (^{14}C) by liquid scintillation spectrometry low background radiation. According to the dating peatlands of SdEM have begun to form a 42,175 \pm 3390 B.P. (Pleistocene). They indicated through the isotopic composition, changes in vegetation cover during the Late Pleistocene and Holocene, suggesting an interpretation and inference that points to possible changes in local and regional climate.

Key-words: histosols; radiocarbon dating; $\delta^{13}\text{C}$; paleoenvironment.

INTRODUÇÃO

O Espinhaço corresponde a um conjunto de elevações alinhadas na direção norte-sul, desde os limites dos Estados do Piauí-Bahia-Pernambuco ao norte, até a região central do

Estado de Minas Gerais (Almeida-Abreu, 1989). A sua parte meridional estende-se por cerca de 300 km, desde o Quadrilátero Ferrífero (19,5° S) até a região de Olhos d'Água (17° S). Para Saadi (1995) o termo planalto define de maneira mais clara a realidade fisiográfica desse conjunto de terras altas de Minas Gerais.

A Serra do Espinhaço Meridional (SdEM) abrange cerca de 3,5 milhões de ha (hectares), onde vivem cerca de 700 mil pessoas, em 53 municípios (Silva, 2005). Por possuir beleza cênica impressionante, biodiversidade endêmica e sistemas naturais raros, peculiares e intimamente relacionados ao endemismo, como as turfeiras, foi classificada pela UNESCO como "Reserva da Biosfera Terrestre".

Quanto à evolução geodinâmica do Espinhaço, uma sucessão de eventos denudacionais e deposicionais compartimentou o relevo da serra e formou 5 níveis de aplainamento entre 1000 e 1800 metros de altitude, correlacionados respectivamente com as Superfícies de Aplainamento Gondwana e Pós-Gondwana, Sul Americana, Paraguaçu e Velhas, propostas por King (1956).

Nesses níveis de aplainamento são encontradas as turfeiras, formadas pelo acúmulo em sucessão de restos vegetais, em locais que apresentam condições que inibem a atividade de microrganismos decompositores, como excesso de umidade, baixo pH, escassez de oxigênio e temperaturas amenas (Pontevedra-Pombal & Martinez-Cortizas, 2004; Silva et al., 2013a, 2013b), onde a matéria orgânica é humificada e muito lentamente mineralizada. A matéria vegetal vai perdendo gradativamente a estrutura primária, originando produtos residuais que reagem novamente e se polimerizam (processos biogeoquímicos), formando compostos de estruturas complexas, com o enriquecimento contínuo de carbono fixo (Pereira et al., 2005).

Estima-se para todo o planeta cerca de 420 milhões de ha de turfeiras, o equivalente a 4,2% da superfície da Terra (Gorham, 1991). A maior parte, cerca de 350 milhões de ha, ocorre no Hemisfério Norte e, entre 30,5 e 45,9 milhões de ha encontram-se nos Trópicos (Rieley et al., 2008). Entretanto, o mapa de distribuição dos organossolos no planeta Terra (FAO, 1990) não

identifica estes solos no Território Nacional. Valladares (2003) estimou que, no Brasil, as turfeiras ocupam cerca de 611.883 ha, o que corresponde a aproximadamente 0,07% do território nacional. Nesse estudo, porém, não há menção às turfeiras da SdEM.

As turfeiras, além de serem importantes reservatórios de água e carbono, se destacam como testemunho de mudanças paleoambientais (Behling, 1995; Shotyk et al., 1997; Pontevedra-Pombal & Martinez Cortizas, 2004; Silva et al., 2009a, 2009b; Campos, 2009; Campos et al., 2010, 2011, 2012; Horak, 2009; Horak et. al., 2011; Silva et al., 2013a, 2013b), registrando indícios de alterações paleovegetacionais e paleoclimáticas durante o Período Quaternário. A matéria orgânica do solo proveniente da vegetação que coloniza as turfeiras constitui-se em importante testemunho de possíveis variações no clima e na vegetação nos últimos milhares de anos (Gouveia et al., 1997; Gouveia, 2001; Sanaiotti et al., 2002; Victoria et al., 1995).

O Quaternário, iniciado aproximadamente há 2 Ma A.P., se caracteriza como um período de grandes pulsações climáticas, com longos intervalos de tempo de temperaturas muito baixas (as glaciações) intercalados com períodos mais quentes, como o atual (Salgado-Labouriau, 1994). Do ponto de vista fitogeográfico, o Quaternário é caracterizado pela ocorrência de muitas transformações na vegetação, que se processaram em diferentes locais, nas passagens dos estádios glaciais para interglaciais e vice-versa (Suguió, 2001; Gouveia, 2001).

Os isótopos de carbono da matéria orgânica proveniente das turfeiras são frequentemente utilizados para detectar, por meio de mudanças na cobertura vegetal, variações climáticas ocorridas no Quaternário. Enquanto as datações radiocarbônicas (^{14}C) fornecem informações a respeito da sucessão dos eventos ocorridos em um intervalo de 60 mil anos, os isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$) permitem identificar a origem da matéria orgânica do solo (Pessenda et al., 2005; Campos 2009; Campos et al., 2010; Horak 2009; Horak et. al., 2011; Silva et. al., 2013a, 2013b; Silva et al., 2013c), tendo em vista que os vegetais podem ser separados de acordo com o seu ciclo fotossintético em C_3 (árvores e arbustos), C_4

(gramíneas tropicais) e CAM (bromélias, cactos). As espécies C₃ apresentam valores $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -24 e -38 ‰, as espécies C₄ entre -11 e -15‰ e as espécies CAM -11 e -29‰ (Martinelli et al., 2009; Boutton, 1991). As composições isotópicas em carbonos estáveis ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $\delta^{13}\text{C}$) da matéria orgânica do solo (MOS) têm sido usadas como evidências de mudanças na fisionomia vegetal, para inferir mudanças paleoclimáticas e para estimar as taxas de mobilidade da MOS (Suguio, 2001; Gouveia, 2001; Silva et al. 2013a, 2013b).

Em estudos realizados na Turfeira da APA Pau-de-Fruta (SdEM), através de análises da composição isotópica e de assembléias palinológicas, Horak (2009) e Horak et al. (2011) concluíram que aquela turfeira apresentou modificações paleoambientais devido às flutuações climáticas pretéritas, que ocasionaram mudanças na vegetação e na estrutura do depósito. Na mesma turfeira, utilizando datações radiocarbônicas e composição isotópica, Campos

(2010) admitiu que esse pedoambiente começou a se formar há cerca de 20 mil anos A.P e que a cobertura vegetal não variou significativamente. Silva et al. (2013a, 2013b), analisando a composição isotópica da mesma turfeira, não encontraram, em nenhum estágio da formação desses pedoambientes, o predomínio de plantas de ciclo fotossintético C₄. Esses resultados corroboram com os obtidos por Zinck et al. (2011) em estudos realizados em turfeiras na Venezuela, que encontrou valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -23,4 e -27,3 ‰ e idades radiocarbônicas entre 6.435 e 200 anos A.P.

Como as turfeiras são indicadores de mudanças ambientais, hipoteticamente podem ser utilizadas na reconstrução paleoambiental.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi mapear as turfeiras da porção norte da SdEM, discutir a gênese desses pedoambientes e utilizar isótopos estáveis e radioativos de carbono para identificar evidências de mudanças ambientais quaternárias.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

A região de estudos corresponde a uma área de 1.180.109 ha da porção norte da SdEM, em Minas Gerais e se situa entre os paralelos 17° 40' e 19° 30' S e entre os meridianos 42° e 44° W (Figuras 1).

A SdEM bordeja o sudeste do cráton São Francisco e se estende por cerca de 300 km na direção S-N, desde o Quadrilátero Ferrífero, nas proximidades de Belo Horizonte, até a região de Olhos d'Água ao norte de Diamantina. O clima é, de acordo com a classificação de Köppen, Cwb, ou seja, mesotérmico. A temperatura média anual é de 18,7 °C, com invernos frios e secos e verões brandos e úmidos, e a precipitação média anual é de 1.473 mm (Silva, 2005).

No Espinhaço Meridional, superfícies de aplainamento escalonadas estão separadas por áreas com alto grau de dissecação, onde o relevo

é montanhoso e escarpado e são muito frequentes os afloramentos de rochas metareníticas do Supergrupo Espinhaço. Os solos predominantes são neossolos litólicos distróficos típicos, neossolos quartzarênicos órticos e hidromórficos (Silva et al., 2005), substratos de tipologias do bioma cerrado, como o campo rupestre e o campo cerrado. Em diversas depressões das superfícies de aplainamento, as cabeceiras de drenagem estão preenchidas por turfeiras, que constituem as nascentes de inúmeros cursos de águas escuras.

Essas turfeiras são extremamente ácidas, apresentam baixos teores de nutrientes, CTC muito elevada, densidade em torno de 0,5 kg dm⁻³ e permeabilidade muito baixa, permanecendo saturadas com água praticamente o ano todo (Silva et al., 2009a, 2009b).

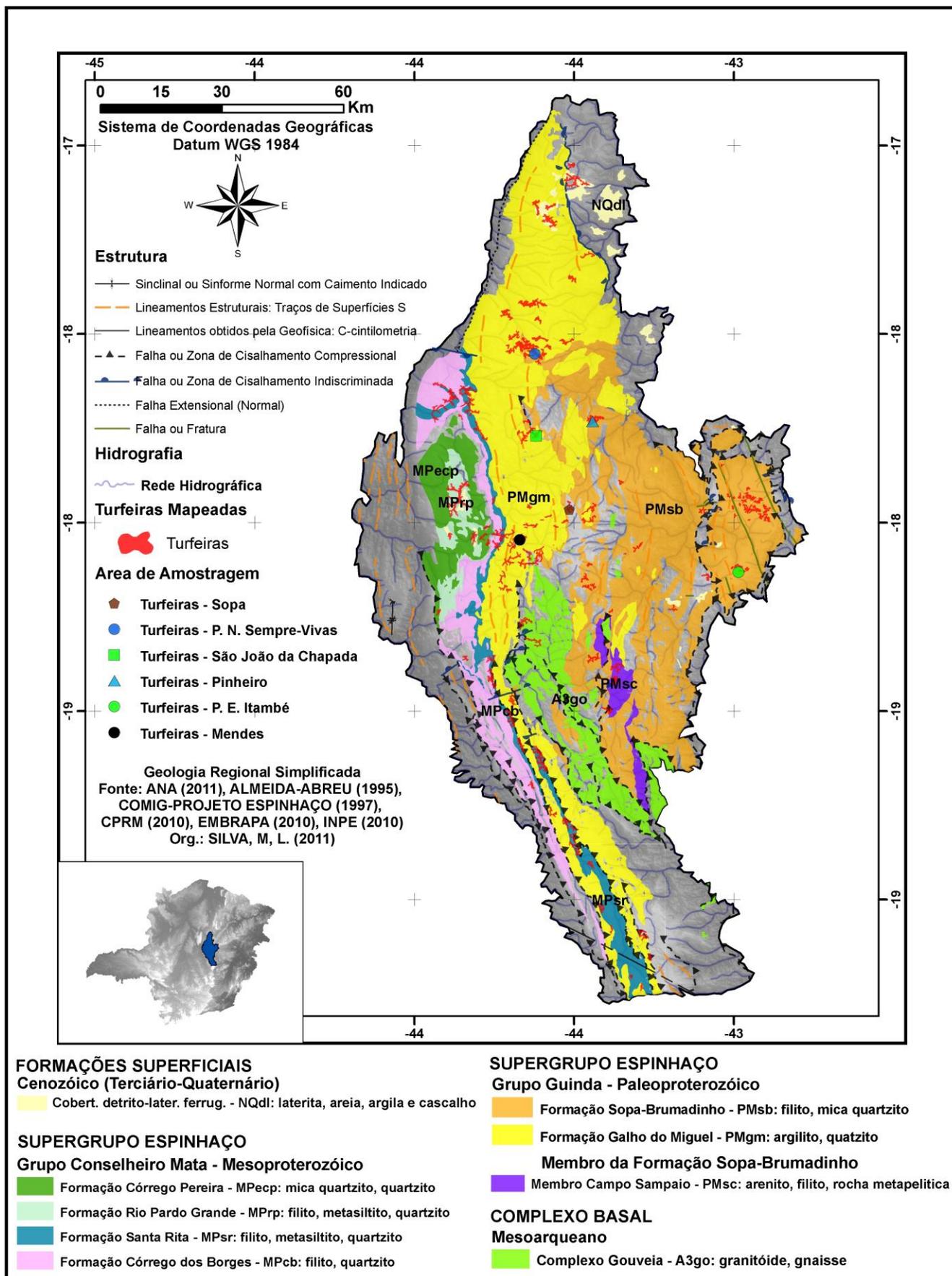


Figura 1. Área ocupada por turfeiras nas principais unidades geológicas da Serra do Espinhaço Meridional – SdEM.

Na SdEM, as turfeiras mapeadas (Silva, 2012; Silva et al., 2013c) ocorrem sobre 9 unidades geológicas: formações Galho do Miguel, Córrego Borges, Santa Rita e Rio Pardo Grande; Membro Campo Sampaio; Complexo Gouveia e Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (Figura 1).

De acordo com Almeida-Abreu (1995), as formações Córrego Borges, Córrego Pereira, Santa Rita e Rio Pardo Grande pertencem ao Grupo Conselheiro Mata, enquanto a Formação Galho do Miguel e Sopa-Brumadinho correspondem ao Grupo Guinda. Tanto o Grupo Conselheiro Mata como o Guinda integram o Supergrupo Espinhaço (Figura 1). As Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas correspondem às formações superficiais terciário-quadernárias.

Segundo Almeida-Abreu & Pflug (1994), as estruturas regionais características da SdEM são representadas por falhas de empurrão orientadas no sentido N-S e NNW-SSE. A compressão se deu de E para W e o grau de deformação expresso nas unidades do Supergrupo Espinhaço cresce de W para E. A borda leste é caracterizada por este tipo de estrutura, as quais se encontram na zona proximal da colisão que edificou o orógeno (Saadi, 1995). Observa-se ainda, no orógeno em geral, uma grande quantidade de falhamentos indiscriminados no sentido WNW-ESE, falhas NE-SW freqüentemente destrais, transcorrências E-W e falhas de transferência WNW-ESSE. A natureza dessas estruturas geológicas se destaca como importantes fatores condicionantes no processo de gênese e evolução das turfeiras nesse ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados em turfeiras previamente definidas, segundo critérios altimétricos e pelo contexto geológico.

Seis turfeiras (São Miguel, Pinheiro, Sempre vivas I, Sempre vivas III, Itambé I e Itambé II) foram mapeadas detalhadamente no campo e amostradas para caracterização dos organossolos (Embrapa, 2006). Foram divididas em transectos espaçados 100 m entre si e a cada 20m, dentro deles, foi aferida a profundidade com o auxílio de uma baliza de ferro e realizado o georreferenciamento do ponto com o auxílio de GPS. O procedimento de amostragem consistiu em introduzir um tubo de PVC (230 cm de comprimento e 50 mm de diâmetro), com a extremidade superior destampada, até o substrato basal da turfeira em pontos representativos. Em seguida o tubo foi tampado, com uma tampa removível inserida em sua extremidade superior, puxado à superfície e colocado na horizontal. Após esse procedimento, a tampa foi retirada e, com uma baliza, foi empurrado lentamente para dentro do tubo um êmbolo de madeira. As amostras, então expulsas do tubo, foram assentadas numa pá reta e condicionadas em sacos plásticos.

Amostras representativas de cada uma das seis turfeiras foram coletadas em diferentes profundidades, em função de atributos locais e encaminhadas para determinação dos isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C).

Análise cartográfica

Aquisição do Banco de Dados

Todos os trabalhos cartográficos de mapeamento e caracterização da área de estudo foram elaborados a partir de observações de campo (com auxílio de GPS e cartas topográficas) e com a base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), GeoMINAS, Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), obtidos em 2009, 2010 e 2011.

Para cobertura de toda a área de estudo foram utilizadas imagens de radar correspondentes às folhas SE23XC (Pirapora), SE23ZA (Curvelo), SE23ZB (Guanhães), SE23ZC (Belo Horizonte),

SE23ZD (Ipatinga) e SE23XD (Capelinha), disponibilizadas pela Embrapa (SRTM obtidos pela NASA).

As imagens do satélite Landsat-5 foram adquiridas da base de dados do INPE, entre 2010 e 2011. A resolução temporal das bandas 3, 4, 5 e 7 da órbita 218 e pontos 72 e 73 (que abrange toda a SdEM) compreendeu o período entre 01.01.2009 a 26.11.2010.

Tratamento das Imagens e Manipulação dos Dados

Inicialmente foi feito o tratamento das imagens SRTM no ENVI 4.5, através da opção *Topographic – Replace Bad Values*. Posteriormente os dados SRTM foram importados para o ambiente do aplicativo ArcGIS 9.3, onde todas as imagens foram mosaicadas e se procedeu a distribuição dos pontos de observação e a individualização dos valores digitais das células em intervalos de 50m, originando uma imagem de cotas hipsométricas com essa mesma equidistância.

Os processos de mosaicamento, correção geométrica (georreferenciamento), registro e composição RGB das imagens de satélites foram feitos através do ENVI 4.5 e do ArcGIS 9.3.

Mapeamento das Turfeiras

As turfeiras foram pré-identificadas e delimitadas com auxílio de fotografias aéreas, imagens do Google Earth, imagens do satélite Landsat-5 e imagens de radar. Os softwares utilizados foram o ENVI 4.5 e o ArcGIS 9.3. A validação da identificação foi realizada nos trabalhos de campo.

Em campo, foi interpretado o padrão de formação das turfeiras, que se repetiu em todos os pontos amostrados (elas se desenvolvem em locais pouco deprimidos a planos, onde a drenagem é interceptada por afloramentos

rochosos, sendo os capões de mata uma feição típica desses pedoambientes). As fotografias aéreas, através de suas características (padrão, textura, tamanho dos objetos, dentre outros) também serviram como instrumento na identificação das turfeiras.

As imagens de radar contribuíram significativamente para a determinação do padrão das turfeiras, além de auxiliar na caracterização e na verificação da distribuição espacial desses pedoambientes nas superfícies da SdEM. Foram fundamentais, uma vez que permitiram identificar morfologias com feições típicas de ambientes turfosos.

Com a imagem de satélite mosaicada, corrigida e registrada, as turfeiras foram determinadas eliminando todos os outros elementos componentes da paisagem (água, solo exposto, rocha, floresta nativa, floresta plantada), a partir da classificação supervisionada *Maxver* (Método da Máxima Verossimilhança) do Software ENVI 4.5, com uma acurácia de 93,3% e estimativa de erro de 6,7%. Após essas etapas sucessivas, a classificação foi refinada com a validação por meio de novos trabalhos de campo. Por fim, foram vetorizadas todas as áreas de turfeiras e efetuados os cálculos de área e volume, com a utilização do Software ArcGIS 9.3 através da opção *calculate geometry* e do *GPS Trackmaker Pro*.

Determinações analíticas

Treze amostras das Turfeiras Pinheiro, Sempre-Vivas I e III, São Miguel e Pico do Itambé I e II foram coletadas, secas ao ar, moídas em grau de porcelana, passadas em peneiras de crivo 0,053 mm e enviadas para determinação dos isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C) por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo (Pessenda & Camargo, 1991) no laboratório de ^{14}C do CENA/USP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Turfeiras do setor norte da serra do espinhaço meridional

A porção setentrional da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM) ocupa uma área de 1.180.109,00 ha, onde foram mapeados

14.287,55 ha de turfeiras, o que representa 1,2% da área total (Figuras 1 e 2). Turfeiras menores que 0,09 ha não foram contabilizadas nesse mapeamento, devido à resolução das imagens de satélite.

As turfeiras se distribuem pelas superfícies de aplainamento situadas entre 1000 e 1200 m, entre 1200 e 1400 m, entre 1400 e 1650 m e entre 1650 e 1800 m (Figura 2).

Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e idades radiocarbônicas das turfeiras

De acordo com as datações radiocarbônicas, as turfeiras da SdEM teriam começado a se formar a 42.175 ± 3.390 anos A.P., no final do Pleistoceno (Tabela 1).

Tabela 1. Idades radiocarbônicas e composições isotópicas de perfis de turfeiras da SdEM.

Local dos Perfis	Coordenadas		Altitude (m)	Prof. (cm)	Idade ^{14}C (anos A.P.)	Idade ^{14}C Calibrada (A.P./ \pm I.C.)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	N. Laborat.
	Lat.	Longit.						
Pinheiro	641495	8002200	1247	0-40	5010 ± 100	5585 – 5941	-20,86	CEN 1177
Pinheiro	641495	8002200	1247	124-164	$18800 + 360 - 350$	21517 - 23369	-23,72	CEN 1176
Sempre-Vivas III	623041	8022418	1168	3-6	Moderna	*1957 – 1959	-23,44	CEN 1174
Sempre-Vivas III	623041	8022418	1168	35- 40	890 ± 100	663 - 978	-23,65	CEN 1175
Sempre-Vivas I	627917	8019052	1261	0-36	Moderna	*1957 – 1958	-20,57	CEN 1178
Sempre-Vivas I	627917	8019052	1261	36-72	5520 ± 170	5928 -6667	-20,25	CEN 1179
São Miguel	649691	7994039	1250	6-14	6800 ± 90	7.665 ± 165	-20,35	CEN 1045
São Miguel	649691	7994039	1250	78-86	23.450 ± 540	28.150 ± 1285	-21,42	CEN 1046
São Miguel	649691	7994039	1250	128-136	$35.100 + 5450$ ou -3220	38.850 ± 7835	-24,91	CEN 1049
São Miguel	649691	7994039	1250	158-170	$38.100 + 2250$ ou -1750	42.175 ± 3390	-21,45	CEN 1050
Itambé I	675923	7965062	1780	30-40	930 ± 75	1.120 ± 135	-28,04	CEN 1051
Itambé II	674530	7964905	2000	0-6	Moderna	*1957 – 1959	-22,86	CEN 1052
Itambé II	674530	7964905	2000	12-18	3010 ± 70	3.185 ± 185	-21,28	CEN 1053

Obs.: O resultado está corrigido para o fracionamento isotópico natural (-25‰) e apresentado em idade ^{14}C convencional em anos antes do presente (AP) em 1σ (68,3% de probabilidade). A idade calibrada, em anos A.P. ou Idade Calendário (IC) foi obtida por meio do Software Calib601.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -20,25 a -28,04 (Tabela 1), evidenciando mudanças na estrutura e composição da vegetação da SdEM ao longo do Quaternário, embora tenham predominado plantas do ciclos fotossintéticos C_3 e CAM.

As datações radiocarbônicas e os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Tabela 1), analisados em conjunto com o contexto geológico, geomorfológico e altimétrico, permitiram discutir alguns cenários relacionados com a gênese das turfeiras da SdEM e ao papel delas como testemunhos de mudanças paleoambientais.

Gênese e evolução das turfeiras no espinhaço meridional

Algumas turfeiras na SdEM foram formadas próximas a áreas com forte controle litoestrutural (falhas, fraturas, lineamentos estruturais), que indiretamente acabaram condicionando esses pedoambientes (Figura 1). Dos 14.287,55 ha de turfeiras da SdEM, 24,6% ocorrem sobre a

Formação Galho do Miguel, onde predominam amplamente os quartzitos, e aproximadamente 25% se desenvolveram nos litotipos da Formação Sopa-Brumadinho, sobre litologias quartzíticas e filíticas. A Formação Santa Rita (com litologias de filitos, metassiltitos e quartzitos) responde por 17,4% das turfeiras da porção norte da SdEM (Tabela 2).

Nesse sentido, aproximadamente 50% das turfeiras da SdEM se formaram sobre as rochas metamórficas da Formação Galho do Miguel e Sopa-Brumadinho, sobre quartzitos, rochas mais comuns da área de estudos (Figura 1 e Tabela 2).

Embora as turfeiras da SdEM, em sua maioria, tenham se formado sobre litotipos do Paleoproterozoico, sua gênese ocorreu no Quaternário. As turfeiras que ocupam as cotas altimétricas entre 1.000 a 1.200 e acima de 1.700 m são, em geral, mais recentes (Holoceno) do que aquelas se encontram em posições entre 1.200 a 1.700 metros, que têm suas gêneses iniciadas no Pleistoceno (Figura 2 e Tabela 1).

Entretanto, a maioria das turfeiras (75,27%) se situa entre 1.100 a 1.350 metros de altitude (Tabela 3).

Tabela 2. Área ocupada por turfeiras nas unidades geológicas da porção norte da SdEM.

Sigla	Nome da Unidade Geológica	Turfeiras	
		Área (ha)	%
PMgm	Formação Galho do Miguel	3.513,46	24,6
PMsbf	Formação Sopa-Brumadinho	3.562,47	24,9
MPcb	Formação Córrego Borges	1.295,21	9,1
MPecp	Formação Córrego Pereira	340,54	2,4
MPrp	Formação Rio Pardo Grande	908,95	6,5
MPsr	Formação Santa Rita	2.520,00	17,4
PMsc	Membro Campo Sampaio	296,84	2,1
A3go	Complexo Gouveia	768,93	5,4
NQdl	Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas	1.081,15	7,6
Total		14.287,55	100

Tabela 3. Distribuição das turfeiras nos níveis altimétricos da SdEM

Níveis Altimétricos (m)	Turfeiras	
	Área (ha)	%
>1.650	172,25	1,21
1.500-1.650	1.026,87	7,19
1.350-1.500	794,25	5,56
1.100-1.350	10.755,54	75,27
1.000-1.100	1.538,64	10,77
Total	14.287,55	100

Segundo Salgado-Labouriau (2007), o estudo paleoecológico de turfeiras do Quaternário mostrou que a deposição de camadas de matéria orgânica obedece às leis da estratigrafia e, portanto, na hulha e nas turfas muito antigas a deposição estratigráfica é preservada. Assim, os princípios estratigráficos podem ser aplicados para entender a gênese e evolução das turfeiras da SdEM.

Nesse sentido, considerando os valores de $\delta^{13}\text{C}$, a turfeira Pinheiro, situada sobre a Formação Sopa-Brumadinho (altitude média de 1.247m) teve sua gênese iniciada no final do Pleistoceno (21.517 – 23.369 anos A.P.) quando poderia haver predomínio de plantas do ciclo fotossintético C_3 (árvores e arbustos). A partir de 5.585 – 5.941 anos A.P. (Holoceno) o teor de

$\delta^{13}\text{C}$ se torna mais elevado (Tabela 1), o que sugere ampliação da área ocupada por espécies dos ciclos CAM (bromélias, cactos e algumas *euphorbiaceae*) e C_4 (gramíneas tropicais), típicas da fitofisionomia campo rupestre, que coloniza a área atualmente.

A turfeira Sempre-Vivas III situa-se sobre litologias da Formação Galho do Miguel, a uma altitude de 1168m. As idades ^{14}C e os teores de $\delta^{13}\text{C}$ permitem inferir que foi formada no Holoceno e colonizada predominantemente por espécies C_3 e CAM. Na turfeira Sempre-Vivas I, situada na mesma unidade geológica, a uma altitude de 1261m, as idades ^{14}C e os teores de $\delta^{13}\text{C}$ apontam para uma formação iniciada no Holoceno e para uma maior contribuição de plantas C_4 na sua gênese (Tabela 1).

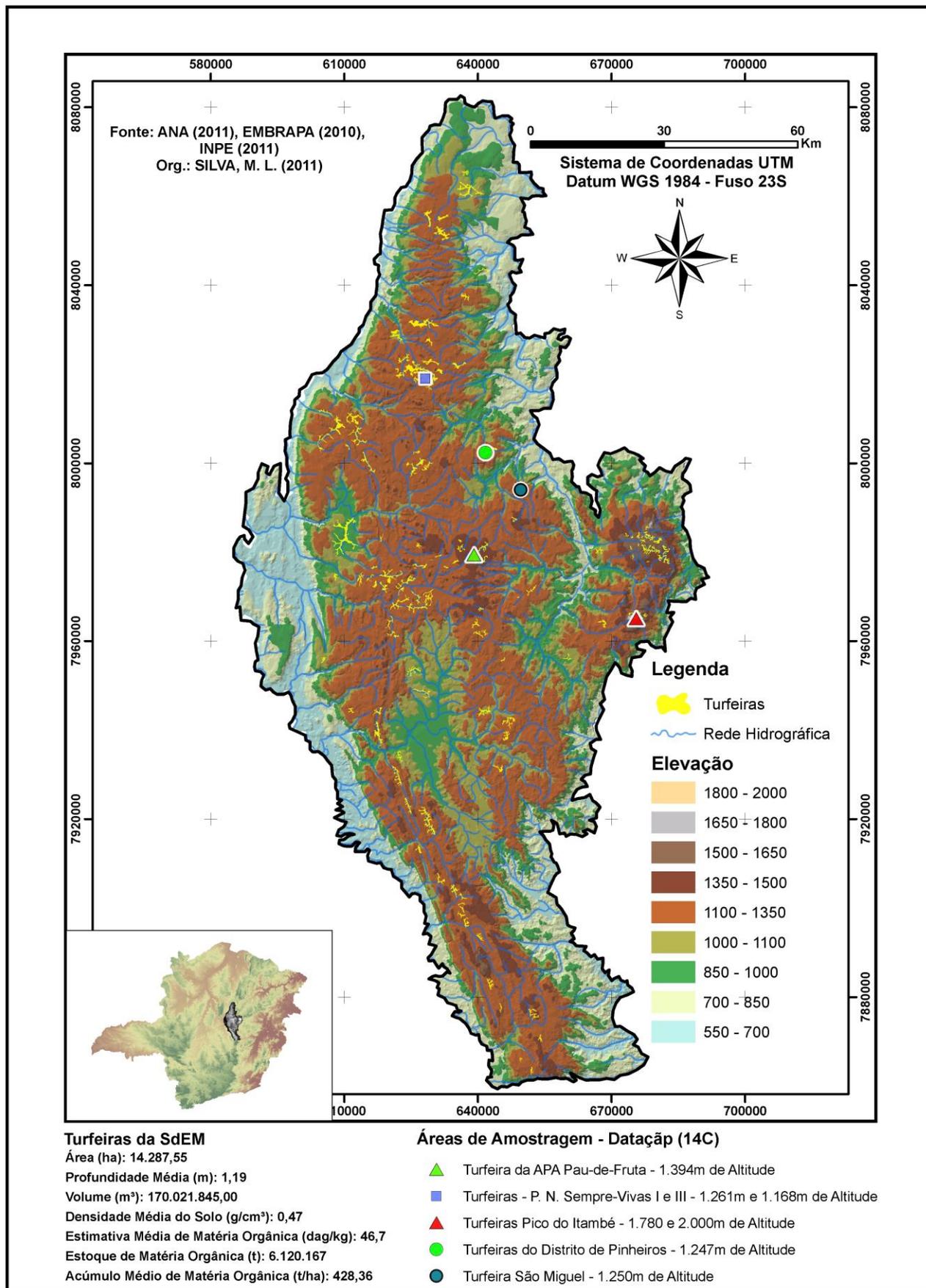


Figura 2. Turfeiras mapeadas e datadas por ^{14}C nas superfícies altimétricas da Serra do Espinhaço Meridional - SdEM.

Situada sobre litologias da Formação Sopa-Brumadinho, a turfeira São Miguel é a mais antiga da SdEM, tendo sua formação iniciada por volta de 42.175 ± 3390 anos A.P (Pleistoceno). Os teores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram ao longo do Quaternário Tardio, permitindo inferir o predomínio de espécies C_3 no Pleistoceno, e maior contribuição de espécies C_4 e CAM no Holoceno (Tabela 1).

As turfeiras do Pico do Itambé (I e II) estão situadas sobre a Formação Sopa-Brumadinho, com altitudes, respectivamente 1780 e 2000 metros. Apresentam idades radiocarbônicas holocênicas e seus teores de $\delta^{13}\text{C}$ evidenciam um predomínio de plantas C_3 na Itambé I e de espécies CAM na Itambé II (Tabela 1).

Silva et al (2013a, 2013b), analisando a composição isotópica de uma turfeira da SdEM, não encontraram, em nenhum estágio da formação desses pedoambientes, o predomínio de espécies de ciclo fotossintético C_4 . Esses resultados corroboram com os obtidos por Zinck et al. (2011) em estudos realizados em turfeiras na Venezuela, que encontraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -23,4 e -27,3 ‰ e idades radiocarbônicas entre 6.435 e 200 anos A.P.

Tanto as turfeiras estudadas por Zinck et al. (2011) na Venezuela como as europeias (Salgado-Labouriau, 2007) são do Holoceno e foram afetadas pela última glaciação (Würm-Wisconsin). As turfeiras da SdEM se formaram tanto no Holoceno como no Pleistoceno (Tabela 2).

Em estudos realizados na turfeira da APA Pau-de-Fruta, na SdEM, utilizando composição

isotópica de carbono e nitrogênio, análises das assembléias palinológicas e caracterização botânica e isotópica da vegetação, Horák (2009) e Horák et al. (2011) concluíram que a essa turfeira apresenta indícios de mudanças climáticas pretéritas, evidenciadas por alterações na composição florística de sua cobertura vegetal, uma vez que os testemunhos polínicos e isotópicos variam significativamente em profundidade. Para Campos et al. (2010), a turfeira da APA Pau-de-Fruta teve sua gênese iniciada a cerca de 20 mil anos A.P e a variação nos teores de $\delta^{13}\text{C}$ em profundidade mostrou indícios de mudanças temporais na cobertura vegetal.

Analisando-se em conjunto os teores de $\delta^{13}\text{C}$ e as idades radiocarbônicas entre e dentro das turfeiras (Tabela 1) pode-se inferir que aquelas que tiveram sua formação iniciada no Pleistoceno apresentam evidências de mudanças na composição florística de sua cobertura vegetal e aquelas com gênese iniciada no Holoceno não apresentam estas evidências, corroborando os resultados obtidos por Campos et al. (2010), Horak et.al. (2011) e Silva et al. (2013a, 2013b).

Os estudos realizados em turfeiras da SdEM (Campos et al., 2010; Horak, 2009; Horak et al., 2011; Silva et al., 2009a; Silva et al., 20013a; Silva et al., 2013c) atestaram que, ao longo da evolução desses pedoambientes no Pleistoceno e Holoceno, eles presenciaram transformações na paisagem do Espinhaço Meridional, testemunhando mudanças no clima e na vegetação local e regional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maioria das turfeiras da SdEM se formou sobre as rochas metamórficas da Formação Galho do Miguel e Sopa Brumadinho, predominantemente sobre quartzitos, mais comuns da área de estudos. Aproximadamente 75% desses pedoambientes se situam entre as cotas de 1.100 a 1.350 metros de altitudes.

No Espinhaço Meridional, as turfeiras que se situam em posições altimétricas de 1.000 a 1.200 m e acima de 1.700m são mais recentes (Holocênicas), ao passo que aquelas que ocupam

posições entre 1.200 e 1.700 m de altitude são mais antigas (Pleistocênicas). Na SdEM, elas começaram a ser formadas no Pleistoceno Superior (42.175 ± 3390 anos A.P.) e a composição florística de sua cobertura vegetal variou entre o Pleistoceno e o Holoceno, sugerindo mudanças paleoambientais.

As turfeiras da SdEM são ambientes com grande potencial para estudos cronológicos de mudanças paleoambientais (vegetação e clima), representativos de uma vasta região tropical.

Além de isótopos de carbono, estudos palinológicos e de fitólitos devem ser levados a cabo com intuito de elevar a precisão das

informações. Esse potencial evidencia a necessidade urgente e emergente de conservação e preservação desses pedoambientes.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, a FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro e a CAPES, pela bolsa de estudos para a execução desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA-ABREU, P. A. **Geologia das quadrículas Onça e Cuiabá (Gouveia-MG) – região mediana central da Serra do Espinhaço Meridional**. 1989. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989.
2. ALMEIDA-ABREU, P. A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o rifte, a bacia e o orógeno. **Geomos**, v.3, n.1, p.1-18, 1995.
3. ALMEIDA-ABREU, P. A. & PFLUG, R. The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. **Zbl. Geol. Paläont. Teil I** (1/2), p. 21-44, 1994.
4. ANDRIESSE, J. P. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, 1984, Curitiba. **Anais...** Provrázzeas Nacional, Embrater, SEAG – Paraná e Acarpa / Emater - Paraná, 1984. p.11-34.
5. BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.
6. BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, Netherlands, v.14, p. 253-268, 1995.
7. BOUTTON, T.W. Stable carbon isotopes ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D. C.; FRY, B. (Ed.). **Carbon isotopes techniques**. New York: Academic Press, 1991, p.155-171.
8. CAMPOS, J. R. R. **Caracterização, mapeamento, volume de água e estoque de carbono da turfeira da área de proteção ambiental Pau-de-Fruta, Diamantina – MG**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Solo e Água) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2009.
9. CAMPOS, J. R. R.; SILVA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; FERREIRA, M. M.; SILVA, D. V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, p. 1217-1227, 2011.
10. CAMPOS, J. R. R.; SILVA, A. C.; VASCONCELLOS, L. L.; SILVA, D. V.; ROMÃO, R. V.; SILVA, E. B.; GRAZZIOTTI, P. H. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area Pau-de-Fruta – Diamantina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34, p. 1965-1975, 2010.
11. CAMPOS, J. R. R.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Mapping, organic matter mass and water volume of a peatland in Serra do Espinhaço Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, p. 723-732, 2012.
12. CONCEIÇÃO, M.; FREIXO, A. A.; ARAÚJO, W. S.; CUNHA, T. J. F.; NETO, L. M.; SAAB, S. C. Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas. **Pesquisa em Andamento**, n.5, p.1-6, 1999.
13. EBELING, A. G. **Caracterização analítica da acidez em organossolo**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
14. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
15. FAO – UNESCO. Soil Map of the World at scale 1:5.000.000. In: WORD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., Kyoto, 1990. Proceedings. Kyoto, International Soil Science Society, 1990.
16. GORHAM, E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. **Ecological Applications**, New York, v.1, n. 2, p.182-195, 1991.
17. GOUVEIA, S. E. M. Dinâmica de vegetações durante o quaternário recente no sul do amazonas, indicadas pelos isótopos de carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) do solo. **Geochimica Brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 355-367, 1997.
18. GOUVEIA, S. E. M. **Isótopos do carbono na avaliação do remonte biológico de Latossolos e Podzólicos e de eventos pleoclimáticos em distintas localidades do Brasil**. 2001. 116 f. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
19. HORAK, I. **Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-Fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG**. 2009. 281 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
20. HORAK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; SILVA, A. C.; PESSENDA, L. C. R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Southern Espinhaço (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, p. 41-52, 2011.
21. KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, ano XVIII, n. 2, p. 3-121, 1956.
22. MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
23. PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; VALLADARES, G. S. Organossolos: ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: TORRADO, P. V. et al. **Tópicos em**

Ciência do Solo IV. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p. 233–277.

24. PESSEDA, L. C. R.; CAMARGO, P. B. Datações radiocarbônicas de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. **Química Nova**, v. 14, n. 2, p. 98 – 103, 1991.

25. PESSEDA, L. C. R. et al. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C. R. G. et al. (ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005, p. 75-93.

26. PONTEVEDRA-POMBAL, X.; MARTINEZ-CORTIZAS, A. Tuberas de Galicia: processos formativos, distribución y valor medioambiental. El caso particular de las “Serras Septentrionais”. **Chioggia**, v. 2, p. 103-121, 2004.

27. RIELEY, R. A. J. et al. Tropical Peatlands: carbon stores, carbon gas emissions and contribution to climate change processes. In: STRACK, M. **Peatlands and Climate Change**. Calgary: Peat society, 2008, p. 44 – 70.

28. SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. **Geonomos**, v. 3, n.1, p. 41-75, 1995.

29. SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Crerios e tcnicas para o Quaternrio**. So Paulo: Editora Edgard Blcher, 2007.

30. SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Histria ecolgica da Terra**. 2. ed. So Paulo: Editora Edgard Blcher, 1994.

31. SANAIOTTI, T. et al. Past vegetation changes in amazon savannas by using carbon isotopes of soil organic matter. **Biotropica**, v. 34, p. 2 – 16, 2002.

32. SHOTYK, W; NORTON, S. A.; FARMER, J. G. Summary on peat bog archives of atmospheric metal deposition. **Water, air and soil pollution**, v. 100, n. 3, p. 213-219, 1997.

33. SILVA, A. C.; HORAK, I.; MARTINEZ-CORTIZAS, A.; VIDAL-TORRADO, P.; RODRIGUES-RACEDO, J.; GRAZZIOTTI, P. H.; SILVA, E. B.; FERREIRA, C. A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG: I – caracterizao e classificao. **Revista Brasileira de Cincia do Solo**, 33, p. 1385-1398, 2009a.

34. SILVA, A. C.; HORAK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; MARTINEZ-CORTIZAS, A.; RODRIGUES-RACEDO, J.; CAMPOS, J. R. R. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG: II - Influncia da drenagem na composio elementar e substncias hmicas. **Revista Brasileira de Cincia do Solo**, 33, p. 1399-1408, 2009b.

35. SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F. & ALMEIDA ABREU, P. A. (Ed.). **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. Belo Horizonte: O Lutador, 2005.

36. SILVA, A. C. Solos. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F. & ALMEIDA ABREU, P. A. (Ed.). **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. Belo Horizonte: O Lutador, 2005, p. 50-78.

37. SILVA, E. V.; SILVA, A. C.; PEREIRA, R. C.; CAMARGO, P. B.; SILVA, B. P. C.; BARRAL, U. M.; MENDONÇA-FILHO, C. V. Composio lignocelulsica e isotpica da vegetao e da matria orgnica do solo de uma turfeira tropical: I - composio florstica, fitomassa e acmulo de carbono. **Revista Brasileira de Cincia do Solo**, 37, n. 1, p. 121-133, 2013a.

38. SILVA, E. V.; SILVA, A. C.; SILVA, B. P. C.; CAMARGO, P. B.; PEREIRA, R. C.; BARRAL, U. M.; BOTELHO, A. M. M.; VIDAL-TORRADO, P. Composio

lignocelulsica e isotpica da vegetao e da matria orgnica do solo de uma turfeira tropical: II - substncias hmicas e processos de humificao. **Revista Brasileira de Cincia do Solo**, 37, n. 1, p. 134-144, 2013b.

39. SILVA, M. L.; SILVA, A. C.; SILVA, B. P. C.; BARRAL, U. M. SOARES, P. G. S.; VIDAL-TORRADO, P. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional – Brasil. **Revista Brasileira de Cincia do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1149-1157, 2013c.

40. SILVA, M. L. **Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: mapeamento e estoque de matria orgnica**. 2012. 139 f. Dissertao (Mestrado em Cincia Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

41. SUGUIO, K. **Geologia do Quaternrio e mudanas ambientais (passado + presente = futuro?)**. 1 reimp. So Paulo: Paulo’s comunicao e Artes Grficas, 2001.

42. VALLADARES, G. S. **Caracterizao de organossolos, auxlio a sua classificao**. 2003. 142 f. Tese (Doutorado em Cincia do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropdica, 2003.

43. VICTORIA, R. L.; FERNANDES, F.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S. Past vegetation changes in the Brazilian Pantanal arboreal-grass Savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter. **Global Change Biology**, v. 1, p. 101 – 108, 1995.

44. ZINCK, J. A.; GARCIA, P.; PLICHT, J. V. D. Tepui Peatlands: age record and environmental changes. In: ZINCK, J. A.; HUBER, O. (Eds.). **Peatlands of the Western Guayana Highlands, Venezuela: properties and paleogeographic significance of peats**. New York: Springer, 2011, p. 189-236 (Ecological Studies v. 217).

Manuscrito recebido em: 25 de Outubro de 2015

Revisado e Aceito em: 15 de Maio de 2016